

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-119123

(43)Date of publication of application : 30.04.1999

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

G02B 6/00

(21)Application number : 09-304970

(71)Applicant : TDK CORP

(22)Date of filing : 20.10.1997

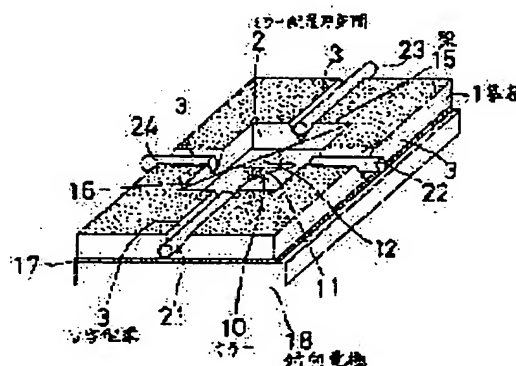
(72)Inventor : FUJITA HIROYUKI  
TOSHIYOSHI HIROSHI  
MIYAUCHI DAISUKE  
SHINOURA OSAMU

## (54) OPTICAL SWITCH AND MANUFACTURE THEREOF

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture an optical switch capable of exactly executing positioning of an optical fiber by a V-shaped groove and exactly aligning a movable mirror to the optical path of optical fiber.

SOLUTION: A mirror arranging space 2 is formed on a Si substrate 1 whose principal plane is a (100) plane, a V-shaped groove 3 for fixing plural optical fibers is formed, a mirror structure 11 is formed by a part of film formed on the principal plane of the Si substrate 1, a reflection film is provided on the front surface of the mirror structure 11 to form a movable mirror 10, optical fibers 21-24 are fixed in the V-shaped groove 3, the movable mirror 10 is arranged in the mirror arranging space 2 between the plural optical fibers 21-24 and the optical path is changed by driving the movable mirror 10.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's

BEST AVAILABLE COPY

decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-119123

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51) Int. Cl.

G 0 2 B 26/08

識別記号

6/00

F I

G 0 2 B 26/08

6/00

E

F

C

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平9-304970

(22) 出願日

平成 9 年 (1997) 10 月 20 日

(71) 出願人 000003067

ティーディーケイ株式会社

東京都中央区日本橋 1 丁目 13 番 1 号

(72) 発明者 藤田 博之

東京都豊島区千川 1 - 9 - 14

(72) 発明者 年吉 洋

東京都中央区新川 2 - 27 - 4 - 2114

(72) 発明者 宮内 大助

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー

ディーケイ株式会社内

(72) 発明者 篠浦 治

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー

ディーケイ株式会社内

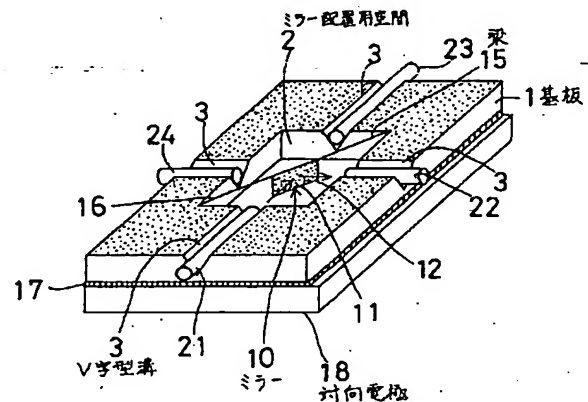
(74) 代理人 弁理士 村井 隆

(54) 【発明の名称】 光スイッチ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 V字型溝により光ファイバーの位置決めを正確に行うとともに可動ミラーと光ファイバーの光路との位置合わせを正確に実行可能な光スイッチを提供する。

【解決手段】 主面が (100) 面の Si 基板 1 にミラー配置用空間 2 を形成するとともに複数の光ファイバー固定のための V 字型溝 3 を形成し、前記 Si 基板 1 の主面上に成膜された膜の一部でミラー構造体 11 を形成し、該ミラー構造体 11 の表面に反射膜を設けて可動ミラー 10 とし、前記 V 字型溝 3 に光ファイバー 21 ~ 24 を固定し、前記可動ミラー 10 を複数の光ファイバー間の前記ミラー配置用空間 2 に配して、前記可動ミラー 10 の駆動により光路を変更する構成である。



21, 22, 23, 24 : 光ファイバー

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 主面が(100)面のSi基板にミラー配置用空間を形成するとともに複数の光ファイバー固定のためのV字型溝を形成し、前記Si基板の主面上に成膜された膜の一部でミラー構造体を形成し、該ミラー構造体の表面に反射膜を設けて可動ミラーとし、前記V字型溝に光ファイバーを固定し、前記可動ミラーを複数の光ファイバー間の前記ミラー配置用空間に配して、前記可動ミラーの駆動により光路を変更すること特徴とする光スイッチ。

【請求項2】 前記Si基板の主面の反対側に対向電極を設け、該対向電極と前記可動ミラー間に電圧を印加して前記可動ミラーを静電駆動する請求項1記載の光スイッチ。

【請求項3】 前記可動ミラーは磁性体層を有し、永久磁石により自己保持動作を行う請求項1記載の光スイッチ。

【請求項4】 主面が(100)面のSi基板の当該主面にミラー構造体となる膜を成膜した後、複数の光ファイバー固定のためのV字型溝及びミラー構造体を同時にパターンニングして作製し、複数のV字型溝に光ファイバーを固定して形成される光路と前記ミラー構造体の表面に反射膜を設けた可動ミラーとの相互位置関係が前記パターンニングで規定されるようにしたことを特徴とする光スイッチの製造方法。

【請求項5】 前記Si基板のアルカリ溶液による異方性エッチングにより前記V字型溝が形成されている請求項4記載の光スイッチの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信等に用いられる光スイッチ及びその製造方法に係り、特にシリコンマイクロマシニングプロセスにより作製可能な小型の機械式光スイッチ及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】高速光通信の普及に伴い、従来のバルク型光スイッチに代わり、小型で高速、高信頼性、低価格が実現可能なマイクロマシニング手法により作製される光スイッチへの期待が大きい。

【0003】従来の光スイッチの一つに特開平6-209062号に開示されている光ファイバーを直接、電磁力で駆動する光スイッチがある。しかし、大きな光ファイバーを動かす為には大きな力が必要であり、このため高速応答性や小型化は困難であった。また、光ファイバーの正確でかつ安定した位置固定のためにV状溝を形成しているが、V状溝で位置固定されるのは固定側の光ファイバーのみであり、可動側の光ファイバーの位置は必ずしも安定しない。また、特開平8-110418号にも光ファイバーをV状溝で固定する構造が示されている。

【0004】同様の光スイッチにおいては、重要なスイッチング動作の自己保持を実現するため、永久磁石とNiFe膜のチューブの組み合わせを用いた例が、“Micro-Magnetic Alloy Tubes for Switching and Splicing Single-Mode Fibers”, Proc. IEEE MEMS 91, 1991, pp86~91に報告されている。この例では光ファイバー自体を磁気力により動かして、1×2スイッチ(一端側1ポート、他端側2ポート)を実現している。

【0005】一方、マイクロマシニングによる機械式光スイッチは、波長無依存性、高コントラストという特徴を有する。マイクロマシニングにより作製された光ファイバースwitchとして、例えば、発明者は“Electrostatic Micro Torsion Mirrors for an Optical Switch Matrix”, IEEE J. Microelectromechanical systems 5(4), (1996), pp231~237. にトーションミラーを静電駆動することにより光路変更する光スイッチを既に報告している。この例では、およそ1cmの空間を直進するコリメートビーム間に配置されたトーションミラーが電極を兼ね、対向電極との間に電圧を印加することにより、トーションミラーが90°回転し、光路のスイッチングを行っている。小さなミラーを駆動するために高速化が可能である。

【0006】これに対し、光路に対して垂直なミラーを平行移動させることによって、光スイッチングを行うという試みも幾つかなされている。例えば、“Vertical Mirrors Fabricated by Reactive Ion Etching for Fiber Optical Switching Application”; the 10th Annual International Workshop on Micro ElectroMechanical Systems, 1997, pp49~54には、深堀RIE(Reactive Ion Etching)でSi基板を削ることにより、基板面に垂直なミラーを作製した例が報告されている。この場合、ミラーはやはり深堀RIEで形成したアスペクト比の高い櫛歯型アクチュエータに連結されており、そのアクチュエータの静電駆動によってミラーが光路に出入りし、光スイッチングを行っている。

【0007】さらに光路に対して垂直なミラーを上下に動かすことによる光スイッチングも試みられている。例えば、“An Electromagnetic MEMS 2×2 Fiber Optic By pass Switch”; International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, 1997, pp89~92には、電磁力による構造体の上下運動でミラーを光路に出入りさせ、スイッチングを行う例が報告されている。この場合の駆動力は、構造体に形成された銅線コイルへの通電により生じる磁界と、対向して配された永久磁石の間に働いている。

【0008】また、磁性薄板を外部磁界によって回転させる例が、“Magnetic microactuation of torsional polysilicon structures”, Sensors and Actuators A53(1996)392-397に報告されている。この例では15μmのNiFe薄板を、梁を軸にして基板から起き上がるように

回転させている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、トーションミラー型光スイッチでは、ミラー自体は既に小型化されているために高速動作が可能である。しかし、光ファイバーとミラーの位置合わせは困難であった。シリコン基板のエッチングによりV字型溝を作製し光ファイバーの固定を行うことは広く知られていたが、このV字型溝の作製工程と光ミラーを作製する工程とは互いに相いれない部分が多く、1枚の同一シリコン基板上に同時に両者をパターニングすることは困難であった。V字型溝と光ミラーを別々にパターニング作製した場合には正確な位置合わせは得られない。

【0010】また光ファイバー固定のための溝が設けてあっても、溝がV字型ではない場合には、ファイバーを正確に固定するのが難しい。

【0011】ミラーの駆動源としてコイル等により発生する電磁力を駆動源とした場合ではコイル等が広い面積を必要とするため、スイッチが複雑化すると同時にあまり小さくならず、マトリクス化には適さない。

【0012】また光ファイバー自体を動かすスイッチでは、自己保持性は実現できるが、小型化、マトリクス化は困難である。

【0013】一方、従来公知の静電駆動光スイッチは簡単な構造であるが、自己保持動作は実現していなかった。

【0014】本発明の第1の目的は、上記の点に鑑み、V字型溝により光ファイバーの位置決めを正確に行うとともに可動ミラーと光ファイバーの光路との位置合わせを正確に実行可能な光スイッチを提供することにある。

【0015】本発明の第2の目的は、必要な場合には可動ミラーの自己保持動作が可能な光スイッチを提供することにある。

【0016】本発明の第3の目的は、光ファイバー固定用のV字型溝と可動ミラーの構造体とを同時にパターニングして作製することで可動ミラーと光ファイバーの光路との正確な位置合わせを可能にした光スイッチの製造方法を提供することにある。

【0017】本発明のその他の目的や新規な特徴は後述の実施の形態において明らかにする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の光スイッチは、主面が(100)面のSi基板にミラー配置用空間を形成するとともに複数の光ファイバー固定のためのV字型溝を形成し、前記Si基板の主面上に成膜された膜の一部でミラー構造体を形成し、該ミラー構造体の表面に反射膜を設けて可動ミラーとし、前記V字型溝に光ファイバーを固定し、前記可動ミラーを複数の光ファイバー間の前記ミラー配置用空間に配して、前記可動ミラーの駆動により光路を変更する

構成としている。

【0019】前記光スイッチにおいて、前記Si基板の主面の反対側に対向電極を設け、該対向電極と前記可動ミラー間に電圧を印加して前記可動ミラーを静電駆動する構成であってもよい。

【0020】前記可動ミラーが磁性体層を有し、永久磁石により自己保持動作を行う構成であってもよい。

【0021】本発明の光スイッチの製造方法は、前記主面が(100)面のSi基板の当該主面にミラー構造体となる膜を成膜した後、複数の光ファイバー固定のためのV字型溝及びミラー構造体を同時にパターニングして作製し、複数のV字型溝に光ファイバーを固定して形成される光路と前記ミラー構造体の表面に反射膜を設けた可動ミラーとの相互位置関係が前記パターニングで規定されるようにしたことを特徴としている。

【0022】前記光スイッチの製造方法において、前記Si基板のアルカリ溶液による異方性エッチングにより前記V字型溝を形成するとよい。

【0023】

20 【発明の実施の形態】以下、本発明に係る光スイッチ及びその製造方法の実施の形態を図面に従って説明する。

【0024】図1に本発明の第1の実施の形態である光スイッチの概略図を、図2乃至図4にその製造方法の詳細をそれぞれ示す。

【0025】図1の光スイッチは静電力駆動の構成であって、主面(上面)が(100)面のSi基板1にミラー配置用空間2を形成するとともに複数の光ファイバー固定のためのV字型溝3を形成し、Si基板1の主面上に成膜された多結晶質Si(poly-Si)膜等の一部でミラー構造体11及びこれを基板1に対して支える2本の梁15、16を形成し、該ミラー構造体11の表面に反射金属膜としてのAuコーティング膜12を設けて可動ミラー10としている。基板1の主面の反対面には絶縁層17を介して静電力駆動のための対向電極18が固定配置されている。

【0026】前記可動ミラー10と対向電極18との間に印加された電圧の静電力により、当該可動ミラー10は90°回転する。すなわち、電圧が印加されていない状態では可動ミラー10は基板主面に平行で、電圧が印加されるとミラー配置用空間2内で基板主面に垂直となる。前記2本の梁15、16はトーションばねとして機能し、可動ミラー10はトーションミラー構造をなしている。

【0027】前記V字型溝3は、アルカリ溶液によるSi基板1主面である(100)面の異方性エッチングにより形成されている。また、可動ミラー10に隣接するように4本の光ファイバー21、22、23、24が各V字型溝3に固定配置されており、電圧が印加されていないミラー10のオフ状態では光ファイバー21から出た光は直進して光ファイバー23に入射し、電圧が印加

されて静電力が働くミラー10のオン状態では光は90°方向を変え、光ファイバー22に入射し、2×2のスイッチが実現される。

【0028】次に、図2乃至図4を用いて第1の実施の形態である光スイッチの製造方法について詳述する。但し、図2及び図3に示すプロセスフローは、図4(A)、(B)のA-A'断面よりみた形状を順次示すものである。

【0029】まず、図2(A)のように主面が(100)面のSi基板31(厚さ:300μm)を用意し、この基板31に、図2(B)のようにLPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition)によりSiO<sub>2</sub>膜(厚さ:3μm)33と多結晶質Si(poly-Si)膜(厚さ:0.25μm)32を成膜した。成膜温度はいずれも600℃で、原料ガスはSiO<sub>2</sub>がSiH<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>、多結晶質SiはSiH<sub>4</sub>である。

【0030】そして、フォトレジスト34を塗布、パターンニングし、図4(A)の平面形状のフォトレジスト34によるマスクを形成する。このマスクを用いて、多結晶質Si32をRIE(Reactive Ion Etching)で、SiO<sub>2</sub>膜33をBHF(buffered hydrofluoric acid)溶液でエッチングして、図2(C)の形状とした。

【0031】この上にやはりLPCVDで図2(D)のようにSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜(厚さ:0.05μm)35を成膜した。この膜35は後のV字型溝形成のためのエッチングのマスクとなる。なお、成膜温度は800℃、原料ガスはSiH<sub>4</sub>とNH<sub>3</sub>である。このSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜も、フォトレジスト36を塗布し図4(B)の平面形状にパターンニングしエッチングマスクとした後、RIEでエッチングして、図2(E)の形状にパターンニングした。このパターンニングによりV字型溝部分とミラー構造体が同時にパターンニングされ、光路と可動ミラーとが自己アライメントされる(相互に位置合わせされる)ことになる。

【0032】そして、後の工程となるV字型溝形成のエッチング時に多結晶質Si(Poly-Si)を保護するために、図2(F)のようにSiO<sub>2</sub>膜(厚さ:2μm)37をやはりLPCVDにより成膜し、図2(G)の如くレジスト38を塗布して後でV字型溝が形成される部分はSi基板31の表面が現れるようにパターンニングしてエッチングマスクとし、BHF溶液によりエッチングした。

【0033】そして、TMAH(tetra methyl ammonium hydroxide)溶液によるSi基板31の異方性エッチングを行い、図2(H)のように光ファイバーを置くためのV字型溝3を形成した。図2(H)ではV字型溝3の縦断面が示される。

【0034】それから、ミラー配置用空間2及び可動ミラー10を作製する工程に続いて入る。図3(A)のように、基板31裏面にCr膜40を真空蒸着し、やはりフォトレジストをマスクとしてCr膜40をパターンニ

ングした。エッチングには硝酸第2セリウムアンモニウム溶液を用いた。そして、図3(B)の如くCr膜40をマスクとして裏面からRIEによる貫通孔形成のための凹部を形成した。このとき、リリース後の可動ミラー10の平面性を維持するために、ミラー構造体11の下層部分となるように薄いSi基板41(もとの基板31の一部)を残すようにするため、30μm程度一度エッチングを進めてから、ミラー下のCr膜40のマスクのみ取り除き、図3(C)のようにエッチストップ層のSiO<sub>2</sub>膜33まで貫通孔を形成した。

【0035】そして、図3(D)のようにBHF溶液によりSiO<sub>2</sub>膜33、37を取り除き、ミラー構造体11をリリースした。最後に図3(E)のように反射金属膜としてのAuコーティング膜12を真空蒸着により成膜して、可動ミラー10を作製した。この可動ミラー10は上層から順にAuコーティング膜12、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜35、多結晶質Si膜32、SiO<sub>2</sub>膜33及び薄いSi基板41からなる多層構造である。

【0036】なお、図示は省略したが同時に形成された2本の梁15、16は、SiO<sub>2</sub>膜33及び薄いSi基板41が無く、上層から順に、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜35及び多結晶質Si膜32からなっている。

【0037】この第1の実施の形態によれば、光ファイバー21乃至24をV字型溝3上にそれぞれ固定し、かつ、可動ミラー10と光ファイバーが自己アライメントされるようにしているので、スイッチ素子として小型化でき、かつ、結合損失を低減することができる。さらに、Si基板1の主面の反対側に対向電極18を設け、該対向電極18と前記可動ミラー10間に電圧を印加して前記可動ミラー10を静電駆動するため、簡単な構造とすることができる。

【0038】図5に本発明の第2の実施の形態である光スイッチの概略図を、図2及び図6にその製造方法の詳細をそれぞれ示す。

【0039】図5の場合、可動ミラー10Aが磁性体層を有し、対向電極の代わりに磁気駆動のための永久磁石50が基板1の主面の反対側に移動自在に配置されている。なお、その他の構成は図1と同様であり、同一又は相当部分に同一符号を付して説明を省略する。

【0040】また、製法上、V字型溝3を形成するまでの図2(A)～図2(H)までの工程は第1の実施の形態と同じであるが、磁性体層を有する可動ミラー10Aを作製する工程が異なる。すなわち、図2(H)までの工程の後、図6(A)のように保護膜のSiO<sub>2</sub>膜37のみをBHF溶液で取り除いた後、磁性体層としてのNiFeCo膜45を成膜、パターンニングし、保護膜としてフォトレジスト46を塗布しておく。以降のプロセスは図3(B)～(E)の場合と同様であり、図6(B)の如くCr膜40をマスクとして裏面からRIEによる貫通孔形成のための凹部を形成し、ミラー構造体11A

の下層部分となるように薄いSi基板41(もとの基板31の一部)を残すようにするため、30 $\mu$ m程度一度エッチングを進めてから、ミラー下のCr膜40のマスクのみ取り除き、図6(C)のようにエッチストップ層のSiO<sub>2</sub>膜33まで貫通孔を形成し、図6(D)のようにフォトリソグ46、SiO<sub>2</sub>膜33を取り除き、ミラー構造体11Aをリリースした。最後に図6(E)のように反射金属膜としてのAuコーティング膜12を真空蒸着により成膜して、可動ミラー10Aを作製した。この可動ミラー10Aは上層から順にAuコーティング膜12、軟磁性体層としてのNiFeCo膜45、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜35、多結晶質Si膜32、SiO<sub>2</sub>膜33及び薄いSi基板41からなる多層構造である。

【0041】この第2の実施の形態によれば、可動ミラー10Aと光ファイバーが自己アライメントされ、スイッチ素子として小型化でき、かつ、結合損失を低減することができる効果に加えて、可動ミラー10A上に磁性膜を成膜し、外部磁界による磁気力でミラー10Aを駆動させることにより、機械式光スイッチに重要な特性である自己保持性を実現することができる。つまり、図5のように永久磁石50が基板1の主面の反対側にて可動ミラー10Aに近接配置されていれば、可動ミラー10Aはミラー配置用空間2内で基板主面に垂直なオン状態となり、永久磁石50が可動ミラー10Aから十分離間した位置では可動ミラー10Aは基板主面に平行なオフ状態となり、永久磁石50をいずれかの位置に保持しておくことで自己保持動作が可能である。

【0042】

【実施例】

実施例1

図5の光スイッチの各部のサイズを以下に示す。まず、梁15、16は、幅が20 $\mu$ m、長さが620 $\mu$ m、厚さは多結晶質Si膜が0.25 $\mu$ mとSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜が0.05 $\mu$ mで合わせて0.3 $\mu$ m、ミラー10Aの幅及び長さは150 $\times$ 500 $\mu$ mであり、Au膜の膜厚は十分な反射が得られるように0.05 $\mu$ mとした。対向するV字型溝3の間隔は1mmであり、したがって対向する光ファイバー間隔は1mm以下となるようにした。

【0043】以下に光スイッチングを行った結果を示す。まず、光は波長1.55 $\mu$ mの赤外光とした。光ファイバーには、TECファイバーを用いた。これは、光ファイバー端部のみコア径を広げ、伝搬距離を長くしているシングルモードファイバーであり、コア径は6 $\mu$ mから12 $\mu$ mとしている。ただし、伝搬距離を長くするには、コア径はより大きいことが望ましい。

【0044】図7に光ファイバー間距離と結合損失の関係を示す(TECファイバー使用)。結合損失を抑えるためには、少しでも光ファイバー間距離が近いことが望ましい。なお、測定はV字型溝上で行った。

【0045】本実施例では、可動ミラー10Aは磁気力

により駆動した。磁性膜としては、飽和磁束密度Bs=10kG、保磁力Hc=5OeのNiFeCo膜を用いた。

【0046】図8には外部磁界とミラーの回転角度の関係を実験にて求めた結果(実線曲線)、及び基板に垂直方向に均一な磁界が印加されていると仮定し、かつ磁性膜に垂直磁化成分がないと仮定して、外部磁界とミラーの回転角度の関係を計算した結果(点線曲線)を示す。梁の膜厚は3000オングストロームである。数百Oeの磁界でかなり90°に近づくことが確認される。

【0047】本実施例では、磁界は均一な磁界ではなく、十分に大きな磁界といえる500Oeの磁界を発生している永久磁石50を基板の下に配してミラー10Aを回転させた。したがって、永久磁石が置かれている限りにおいては、ミラーオン状態が保持される。

【0048】光ファイバー間隔を0.5mmとしてスイッチングを行ったところ、オフ状態での結合損失は図7からもわかるように約4dB、ミラーにより方向を変えた場合で約6dBの結果を得た。これは既に報告されているトーションミラー型光スイッチの結合損失よりも小さい。

【0049】なお、結合損失はさらに光スイッチを小型化し、コア径の大きい光ファイバーを用いることによって、さらに小さくすることも可能である。

【0050】実施例2

本実施例では、図1の光スイッチの可動ミラー10を磁気力ではなく、静電力により駆動した。光スイッチの各部のサイズは実施例1と同じとした。光スイッチの駆動は、対向電極18を基板1の下に配置し、ミラー10のAu膜を電極として、Au膜と対向電極18間に電圧を印加し、ミラー10を回転させている。この場合には基板厚さの300 $\mu$ mが、そのまま電極間ギャップとなる。約1.00Vの電圧の印加によりミラーはほぼ90°回転し、実施例1と同程度の結合損失を得た。

【0051】なお、前述した第2の実施の形態において、磁性体層としては軟磁性膜であるNiFeCo膜には限られず、むしろCoPt膜等の硬磁性膜を用いることが好ましい。第2の実施の形態において、CoPt膜等の硬磁性膜を可動ミラー10A側に設け、ミラー周囲に電磁石を置いてスイッチングを行うことも可能である。

【0052】それらの磁性体層はスパッタ、蒸着等の真空成膜法により形成することが好ましいが、別途作製した磁性体シート、例えば圧延箔を工程途中のウエハーに張り付けることでも作製可能である。また、磁性体層のパターニングのためのエッチングは公知の各種のエッチャントを用いて行うことが可能である。例えばNiFeCo膜のエッチングは混酸アルミ液で行った。

【0053】以上本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明はこれに限定されることなく請求項の記

載の範囲内において各種の変形、変更が可能なことは当業者には自明であろう。

#### 【0054】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、光ファイバーをV字型溝上に固定し、かつ、可動ミラーと光ファイバーが自己アライメントされるようにしているので、スイッチ素子として小型化でき、かつ、結合損失を低減することができる。

【0055】また、可動ミラー上に磁性体層を設けた場合、外部磁界による磁気力で可動ミラーを駆動させることにより、機械式光スイッチに重要な特性である自己保持性を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態であって光スイッチを示す概略図である。

【図2】第1の実施の形態における光スイッチ作製のプロセスフロー前半を示す説明図である。

【図3】同じく光スイッチ作製のプロセスフロー後半を示す説明図である。

【図4】同じく光スイッチ作製のプロセスで用いるマスクパターンを示す説明図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態であって光スイッチを示す概略図である。

【図6】第2の実施の形態における光スイッチ作製のプロセスフロー後半を示す説明図である。

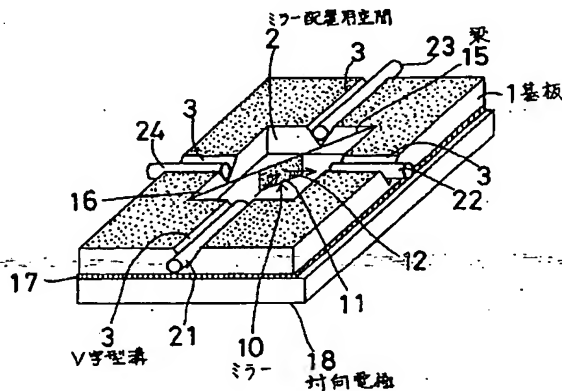
【図7】TECファイバーの間隔と結合損失の関係を示すグラフである。

【図8】外部印加磁界とミラーの回転角の関係を計算した結果を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

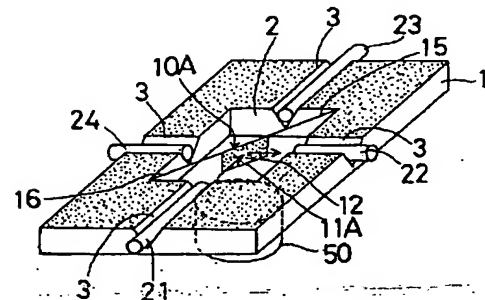
- 1, 31, 41 基板
- 2 ミラー配置用空間
- 3 V字型溝
- 10, 10A 可動ミラー
- 11, 11A ミラー構造体
- 12 Auコーティング膜
- 15, 16 梁
- 18 対向電極
- 21, 22, 23, 24 光ファイバー
- 45 NiFeCo膜
- 50 永久磁石

【図1】

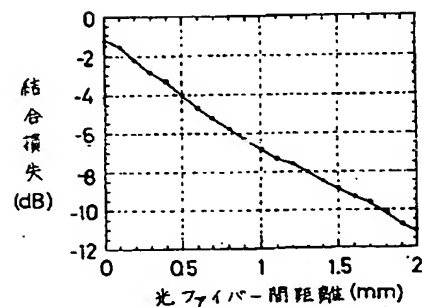


21, 22, 23, 24 : 光ファイバー

【図5】

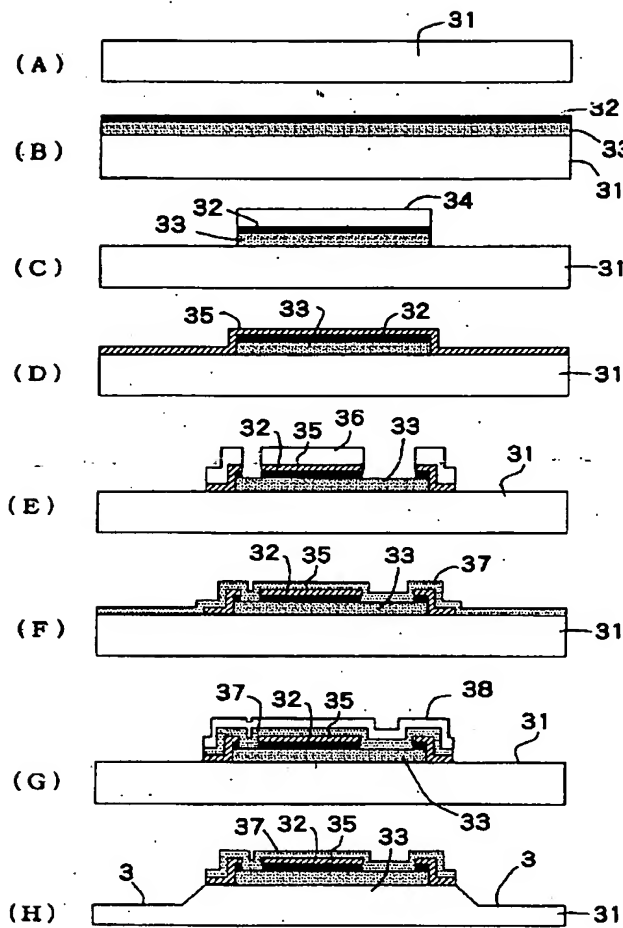


【図7】

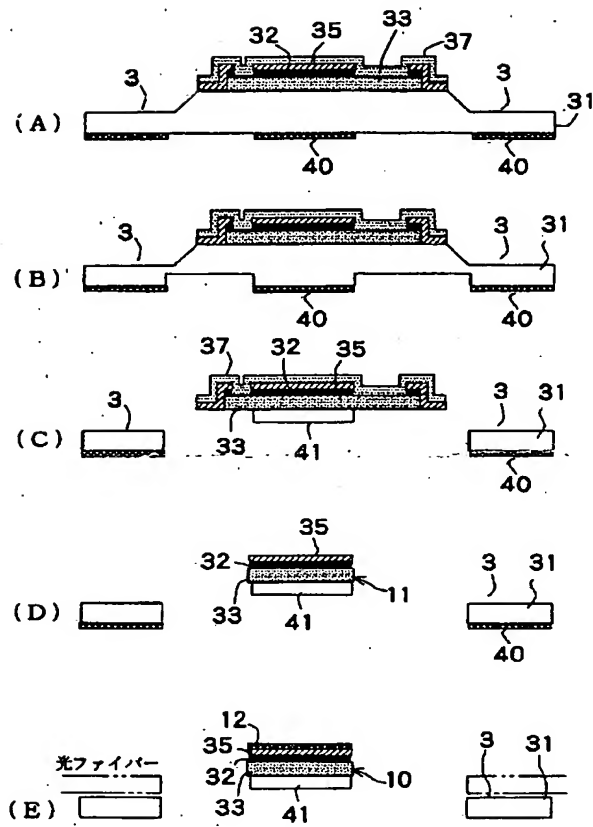




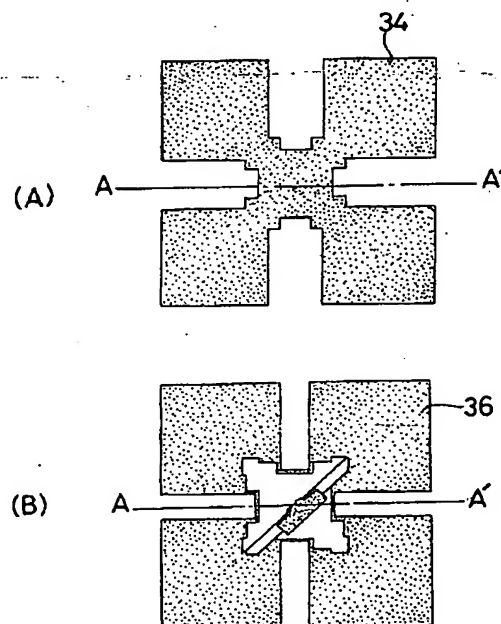
【図2】



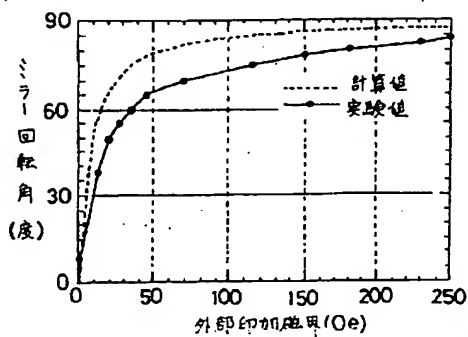
【図3】



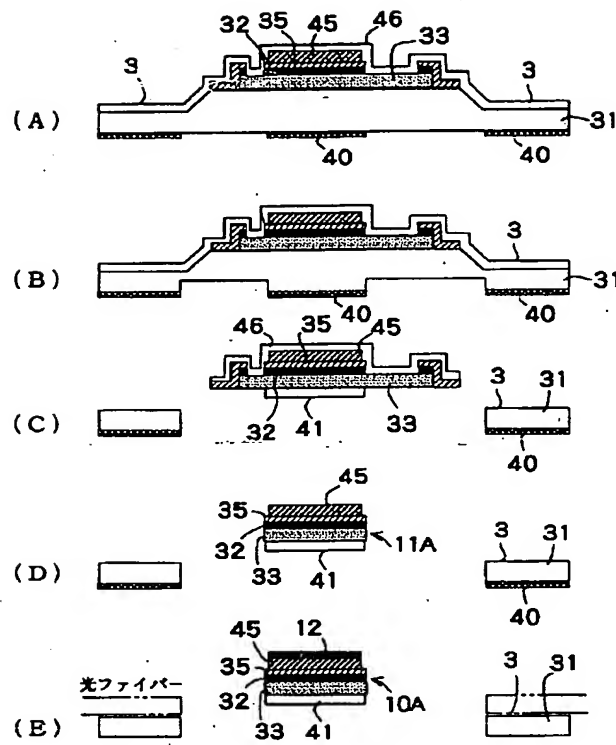
【図4】



【図8】



【図6】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**